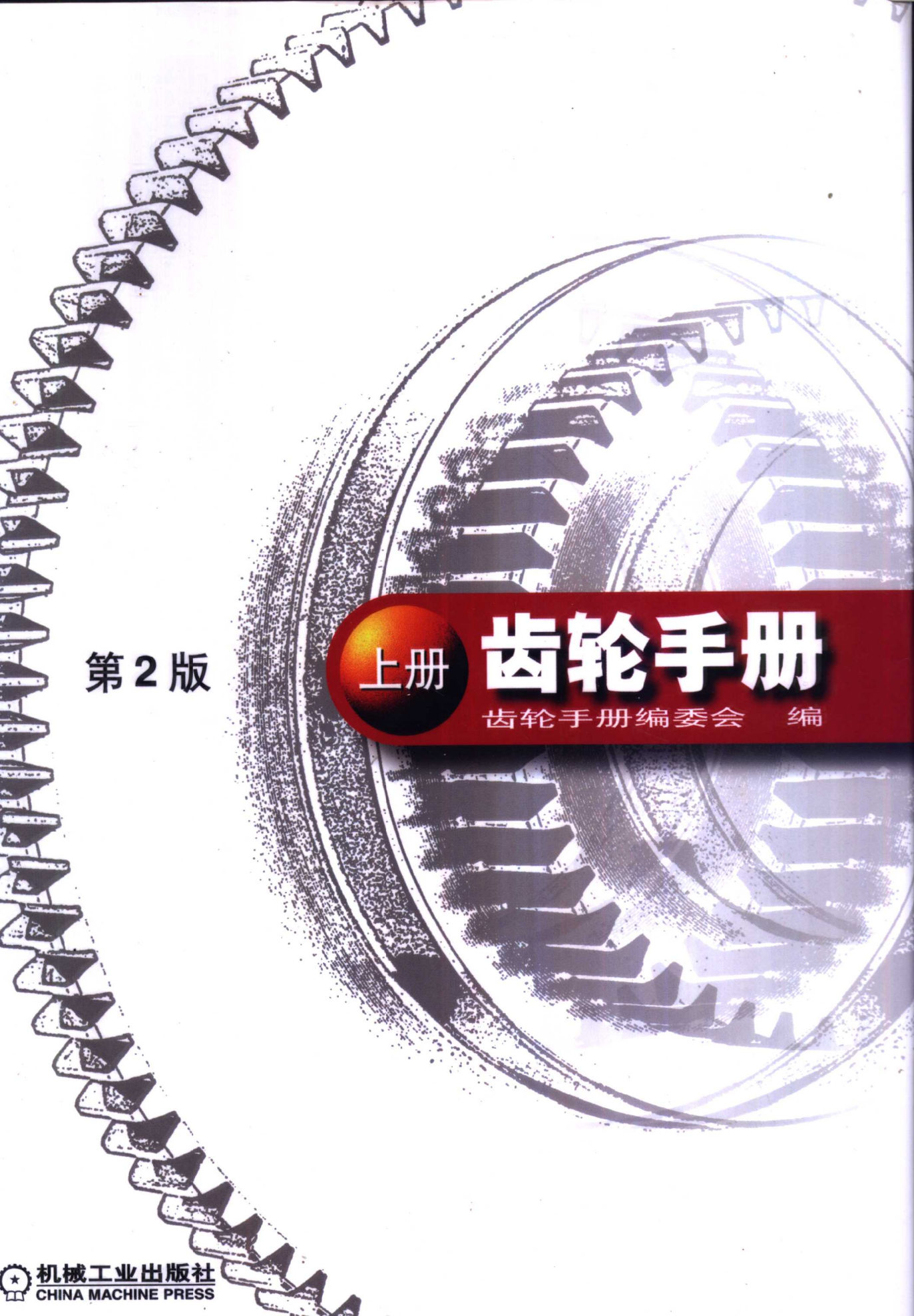




第2版

上册

齿轮手册

齿轮手册编委会 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

第 16 篇 齿轮传动的润滑和冷却

主 编 韩翠蝉

编写人

- 第 1 章 陶 捷 (中信重机公司)
孙 青 (太原重型 (集团) 有限公司)
- 第 2 章 陶 捷 孙 青
- 第 3 章 陶 捷 孙 青
- 第 4 章 张克琴 (中信重机公司)

审稿人

- 韩翠蝉 曹新民 武文辉
(中信重机公司)
- 韩翠蝉 曹新民 武文辉
- 韩翠蝉 曹新民 武文辉
- 韩翠蝉 曹新民 武文辉

齿轮传动的润滑和冷却是齿轮传动中不可缺少的组成部分。许多齿面损伤的原因是由于润滑不良而引起的。因此,减(或增)速器的寿命在很大程度上与合理选择润滑油的种类、粘度、油量以及润滑及冷却方式有关,人们已对齿轮润滑进行了大量的试验研究,并把齿轮润滑理论的研究与实际生产应用相结合,作为提高齿轮承载能力,延长使用寿命,提高生产率,节约能源的一项重要课题。在齿轮传动装置的设计计算中,润滑是一个重要的影响因素。设计人员需要掌握先进的

润滑理论,根据齿轮的使用条件,正确地选择润滑剂及润滑方法。用户在使用与维护过程中更需严格按照产品说明书规定使用润滑剂,并加强维护管理和化验监督工作,做好运行记录,积累油品的使用变化数据,制定出合理的消耗定额和换油周期,定期更换润滑油。

本篇将着重介绍齿轮传动润滑机理,润滑剂的性能、规格及选用,润滑方式及冷却方法等内容

第1章 齿轮传动润滑机理

1 齿轮的啮合特性

由图 16.1-1 所示的渐开线齿轮的啮合过程可知,齿轮在啮合过程中同时存在着滚动和滑动,滚动对形成油膜有利,而滑动则是造成摩擦、磨损和发热的主要因素之一。不同的传动类型,由于滑动方向不同,滑动速度与滚动速度的比值则不同。各种传动的摩擦损耗也即效率不同,损伤形式也不同。

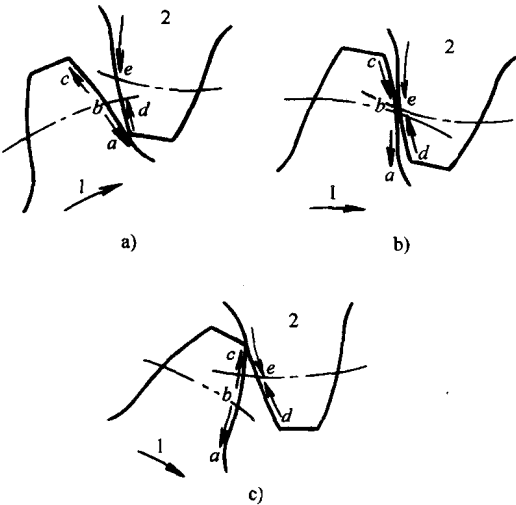


图 16.1-1 齿轮的啮合过程
1—主动齿轮 2—被动齿轮

渐开线直齿圆柱齿轮和直齿锥齿轮沿齿高方向有滑动,滑动方向与接触线垂直,因此,容易形成油膜。

渐开线斜齿圆柱齿轮和弧齿锥齿轮的滑动方向与接触线也近于垂直,加之沿齿宽方向还有一轴向滚动速度,因此,也比较容易形成油膜。

圆弧齿轮传动时是点接触,啮合线与轴线平行,啮合时沿轴线高速滚动,更容易在轮齿间形成流动油膜,见图 16.1-2。

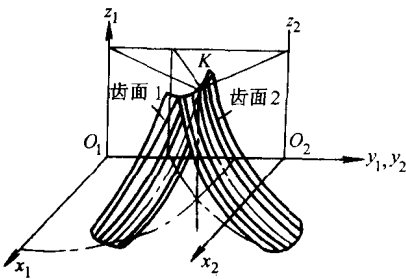


图 16.1-2 圆弧齿轮啮合示意图

准双曲面齿轮沿齿高方向与齿长方向都有较大的滑动速度(最高可达 8m/s),特别是沿齿长方向的滑动与接触线的夹角很小,形成油膜的条件较差,加之它通常用于工作条件比较恶劣的场合(如汽车后桥传动),齿面接触应力很高(500~1500MPa,最高可达 2000MPa),所以润滑条件苛刻,见图 16.1-3。

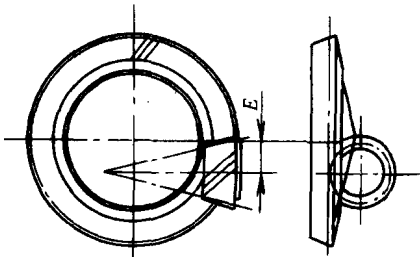


图 16.1-3 准双曲面齿轮副

蜗杆传动中,由于两轴交错,所以两齿面在啮合过程中有较大的相对滑动。圆柱蜗杆的螺旋面与蜗轮齿

面的接触线沿齿宽方向,并随着啮合过程向齿高移动。蜗杆圆周速度的方向(接近于滑动速度的方向)与接触线的夹角很小,所以形成动压油膜的条件最差(见图16.1-4a)。环面蜗杆传动的接触线是沿齿高方向的,而且沿整个齿面高度接触,接触线与蜗杆的圆周速度方向的夹角很大,最大的可达 90° ,因此,容易形成动压油膜(见图16.1-4b)。此外,蜗轮的啮合接触部位对润滑的影响也很大,即在啮入侧有一个入口侧隙(油楔)(见图16.1-5),该侧隙与安装和加工有关。接触位置不正确,将造成传动效率下降或烧伤等事故。

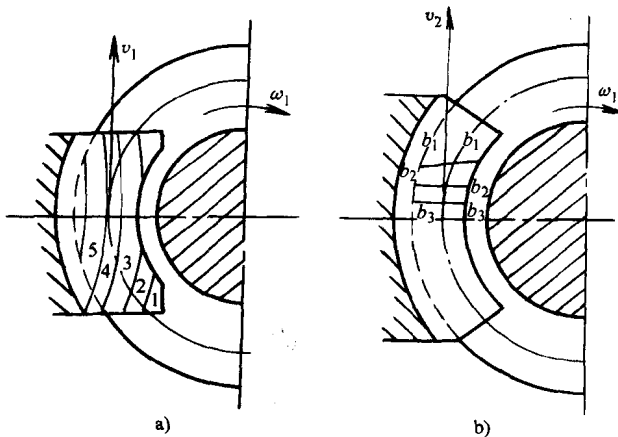


图 16.1-4 蜗杆与蜗轮的接触线
a) 圆柱蜗杆传动 b) 环面蜗杆传动

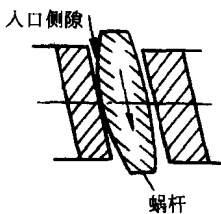


图 16.1-5 蜗轮入口侧隙

摆线针轮传动的针齿套筒表面与摆线齿面之间以及输出轴柱销套与摆线轮孔表面之间的滑动速度及接触应力都较大,难以形成动压油膜。

2 齿轮的润滑状态

齿轮的润滑状态对于研究齿面的失效(如点蚀、磨损和胶合等),及与失效有关的如齿面上的压力分布及数值,齿面的摩擦及功率损失、油膜对动载荷和噪声的影响等是十分重要的。为此,要从本质上了解和解决齿轮的润滑问题,就必须分析在各种工作条件下齿面间的润滑状态。

齿面间的润滑状态通常分为三种:弹性流体动力润滑状态、边界润滑状态以及混合润滑状态。

当齿轮运转时,润滑剂以流体动力油楔的形式参与工作,具有分离轮齿的趋势。当负荷低时,相啮合的轮齿之间具有厚的油膜,当负荷增加时,啮合区的压力也增加,从而引起油膜厚度的减小,当负荷增加到足够大时,齿面间的流动油膜便不能阻挡相啮合轮齿表面最高点之间的直接接触,从而发生磨损或塑变。

两个相啮合轮齿之间的完整油膜是由边界油膜和流动油膜两部分组成,见图16.1-6。边界油膜的形成,是靠润滑油中的极性分子(表面活性物质)与金属表面

发生静电吸附并产生垂直方向的定向排列;同时,非极性分子在电场作用下,原子轨道发生变形而转化为极性分子,吸附并排列在金属表面上,形成一层比较牢固的边界油膜。边界油膜的厚度一般为 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$,两层边界油膜之间的油膜叫流动油膜,其内部的润滑油分子可以自由运动,并依靠润滑油本身的运动(齿面相对运动)来产生油压,承受一定的载荷而不被挤出,所以也叫动压油膜。

实践证明,齿轮润滑状态的好坏与其转速、载荷、齿轮精度、齿面粗糙度、润滑剂及润滑方式等有关。齿轮润滑状态与速度及载荷的近似关系见图16.1-7,其中Ⅰ

区为边界润滑区,Ⅱ区为混合润滑区,Ⅲ区为弹性流体动力润滑区。图示为啮合精度较高,齿面粗糙度较低,油的粘度合适并有添加剂的情况。图中 K 因子为

$$K = \frac{w_m}{d_1} \left(\frac{u \pm 1}{u} \right)$$

(外啮合齿轮用“+”号,内啮合齿轮用“-”号)

式中 w_m ——单位齿宽上的平均载荷 (N/mm);

d_1 ——小轮节圆直径 (mm);

u ——齿数比。

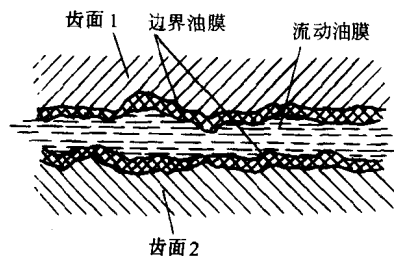


图 16.1-6 润滑油膜的构造

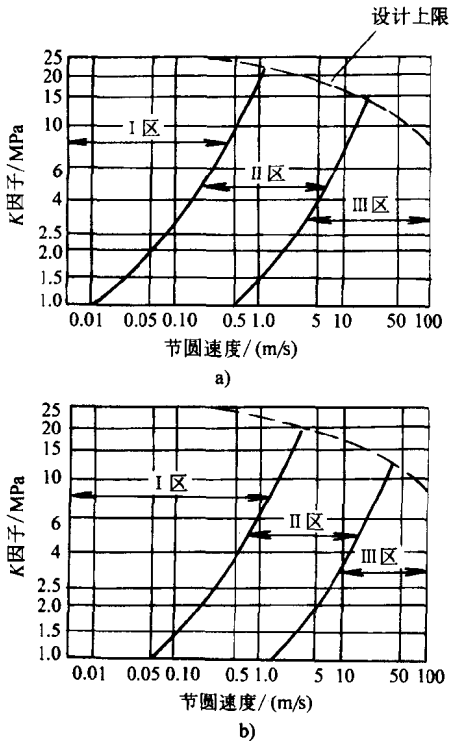


图 16.1-7 齿轮的润滑状态图

2.1 弹性流体动力润滑

弹性流体动力润滑是齿轮的一种理想润滑状况,见图 16.1-8,其润滑特性为,齿面间存在着完整的润滑油膜,把两齿面金属完全隔开。因而,不造成固体金属间的摩擦磨损,能完好无损地保护齿面的刀痕纹路,且油温稳定,传动效率高。这种状态在高速轻载的传动中容易形成,而在低速重载的情况下较难形成。弹性流体动力润滑状态的摩擦因数一般为 $0.01 \sim 0.04$ 。

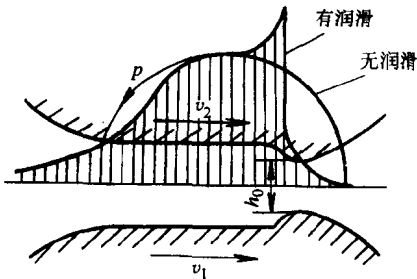


图 16.1-8 弹性流体动力润滑的油膜形状和压力分布

2.2 边界润滑

这种润滑状态是低速重载齿轮经常出现的。由于齿轮转速较低,在相啮合的轮齿之间不存在有流动油膜,只能靠边界油膜将两齿面分开。而边界油膜的性能

又取决于润滑剂及添加剂的性能,以及材料、热处理和周围环境等,(见图 16.1-9)。

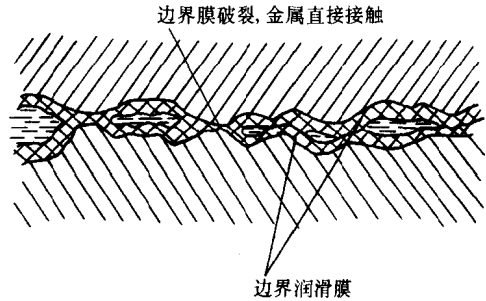


图 16.1-9 边界润滑示意图

(1) 边界润滑油膜的分类 边界润滑油膜可以分为以下三种:

1) 物理吸附膜 它是靠润滑油中的极性分子吸附于金属表面。这种吸附具有可逆性,即在齿轮的啮合中不断脱离与吸附。这种吸附膜的强度较低,且受温度影响较大,只能在低温及摩擦热小的条件下存在。

2) 化学吸附膜 它是利用化学作用在金属表面形成化学吸附膜。在润滑过程中,分子首先以物理吸附的形态出现在齿面上。随着温度的升高,部分极性分子与金属通过电子交换而出现化学吸附,以化学吸附膜代替物理吸附膜。化学吸附膜是一种非完全可逆性油膜,膜的强度比物理吸附膜要牢固得多。在中等载荷及较小滑动速度下具有良好的润滑性能。但在重载及高滑动速度下将丧失润滑能力。

3) 化学反应膜 它是靠油中的极压添加剂在低温时以物理或化学作用吸附于齿面上,在高温时放出活性元素(如硫、磷)与金属迅速反应生成化学反应膜,例如:氯化铁、硫化铁、磷酸铁等。化学反应膜强度高,塑性好,受压时易产生塑性流动,可避免金属的直接接触,故防止了擦伤与胶合。

化学反应膜的强度远远超过物理吸附膜和化学吸附膜,因此它的承载能力较高。但这种反应膜是不可逆的,即在极压状态下化学反应膜不断生成与损失。

(2) 边界润滑油膜的适用状态 不同的边界膜适用于不同的边界润滑状态。

1) 轻载低速下的边界润滑,一般在低速轻载的齿轮传动中产生。此时,摩擦热很小,温度不高,用物理吸附膜已经足够。为了减少摩擦与磨损,常在油中加入适当的油性剂。

2) 轻载高速下的边界润滑,主要发生在接触线与滑动方向平行,不能形成油楔的情况下。一般在圆柱蜗

杆传动中产生,此时,摩擦热较大,要靠化学吸附膜或化学反应膜来保护。为了减少摩擦系数,可在润滑剂中加入油性剂。为了防止胶合,可在润滑剂中加入弱极压添加剂。

3) 低速重载下的边界润滑,主要由于速度过低,无法形成弹性流体动力润滑膜,而边界膜又往往易在高压下被磨掉。一般在低速重载的齿轮传动中产生,此时要靠牢固的化学反应膜来保护。通常是在润滑剂中加入极压添加剂。

4) 重载高速下的边界润滑,主要由于接触线与滑动方向之间的夹角小,不易形成弹性流体动力润滑膜,加之摩擦热大,温升高,只能靠牢固的化学反应膜来保护,一般常见于准双曲线齿轮传动中。为了防止胶合,经常在润滑油中加入强极压添加剂。

边界润滑下的摩擦系数可高至0.15~0.20。但在有良好的润滑剂及表面光滑时,摩擦系数可低至0.06~0.10。

2.3 混合润滑

混合润滑状态就是在相接触的金属表面之间,既有流体动力润滑,又有边界润滑和干摩擦,这种润滑状况是由各方面的条件促成的,例如表面粗糙度状况、载荷的变化,润滑油的粘度及其变化,两接触表面之间的相对速度及其变化,接触表面的弹性变形情况等等,多数闭式齿轮传动属于此种润滑状态。混合润滑状态的摩擦因数为0.03~0.07。

3 齿轮润滑的特点及润滑剂的作用

齿轮润滑与一般零件的润滑相比具有很多特殊性,其特点是:

1) 齿轮的当量曲率半径小,形成油楔的条件差。

2) 齿面的接触应力高,齿轮经常处于边界润滑和混合润滑状态。

3) 齿面间存在着滑动,且滑动的方向和大小急剧变化。

4) 润滑是断续的,每次啮合都需要重新建立油膜,故形成油膜的条件较差。

5) 由于载荷大,摩擦热也大,易使油温上升,从而加速油膜的破坏。

6) 齿轮的材料、热处理、机械加工、装配以及齿面形态和粗糙度等方面的状况都会对润滑产生影响。

由于上述特点,这就要求齿轮润滑油在齿轮传动中起到表16.1-1所示的作用。

表 16.1-1 齿轮润滑油的作用

作用	说 明
抗 磨	减少齿面的磨损,防止粘结(烧结)或擦伤,延长齿轮使用寿命
减 摩	减小摩擦阻力,降低摩擦系数,减小磨损,节省动力
冷 却	带走齿面间的摩擦热并使之放出,用低粘度油时效果更好
防锈蚀	防止齿轮锈蚀
防冲振	吸收或缓和冲击或振动
防噪声	防止齿面间发生咯嗒声
冲 洗	冲洗掉齿面上的固体颗粒和其他污物

要起到表中所列的作用,保证齿轮传动装置能正常工作,就要对齿轮润滑油提出以下要求:

1. 对闭式工业齿轮油的要求

(1) 要有适当的粘度 粘度对于流体动力润滑(例如润滑油膜在0.01 μm 以上)时的耐负荷能力起重要作用,是直接影响摩擦阻力大小,从而决定消耗动力大小的关键指标,也是关系到机械磨损大小的重要性能。粘度大的油,因内摩擦力大,造成摩擦损耗和发热量大而多消耗动力;粘度过小则因不能保持必要的油膜厚度而增加磨损。在实际条件下润滑油的粘度如能保持油膜厚度为0.01~0.1 μm ,则其摩擦因数应较小,才能保持完好的润滑。在边界润滑条件下的蜗轮、蜗杆或处于重载条件下的准双曲面齿轮,其润滑的优劣不取决于粘度大小,而主要取决于齿轮油的油性或极压性。

(2) 良好的油性和极压性 这是齿轮油最重要的性能,是决定齿轮使用寿命的关键性能。油性与增强油膜强度、防止油膜破裂和降低摩擦磨损作用有关,特别对于边界润滑条件下的蜗轮、蜗杆或重载荷曲齿锥齿轮的润滑十分重要。一般多在齿轮油中加入例如硬脂酸等长链脂肪酸以提高油性。极压性是保证齿轮油能在高温及挤压条件下,在齿面上形成低熔点金属化合物润滑膜的性能。为了提高极压性能,一般都在齿轮油中加入具有化学活性的含氮、硫、磷(有时也含铅或锌)的油溶性化合物等作为极压添加剂。

(3) 热氧化安定性良好 这是保证齿轮油在规定换油期内不变质的重要指标,需严格控制。特别要注意那些工作条件苛刻的齿轮油,在高温下油品的氧化会加速,油在氧化后会产生有机酸和沉淀,易产生泡沫,甚至会发生腐蚀,影响润滑性能。因此,齿轮油在使用中的温度,一般要求控制在下列界限之内:

圆柱齿轮

82°C

锥齿轮	93℃
准双曲面齿轮, 交错轴齿轮	85℃
蜗杆、蜗轮	93℃

在上述温度下, 所用齿轮油应具有良好的抗氧化性。为了延缓氧化速度, 齿轮油中一般加有酚型、胺型或硫化物型抗氧化剂。

(4) 防锈、防腐性能好 在间歇工作与温度变化剧烈的齿轮箱中都容易形成凝结水, 使零件生锈。因此, 要求齿轮油的抗水和防锈性能要好, 能形成牢固的抗水油膜, 以防止水分与金属的接触, 从而防止发生锈蚀。一般在油中加入腐蚀性小的极压添加剂, 脂肪酸或抗乳化剂, 使齿轮油具有缓蚀和防锈性能。

(5) 良好的抗泡性 对于循环润滑和飞溅润滑, 油在与空气搅拌过程中形成的泡沫不仅会使齿面润滑油供应不足, 从而破坏齿面的润滑; 还可能由于大量的泡沫充满齿轮箱, 造成溢流或泄漏, 还可引起整个循环系统的振动, 产生气蚀, 降低泵的功率等, 因此, 必须控制。一般加入抑制剂如硅油的办法来提高抗泡性。

(6) 良好的抗乳化性 乳化是油中含水的一种表现。齿轮油中进水后, 水就会以液滴 ($0.2 \sim 50 \mu\text{m}$) 形式分散于油中, 因而降低油品润滑性能, 且易生成油泥。抗乳化性能好的油品, 可使水较快地与油分离, 沉于油箱底部, 即可定期排除。一般润滑油精制不良时, 油中残留的石油酸、磺化物、胶质、沥青等极性物质, 多对抗乳化起不良作用。因此, 要尽量选用精制的基础油。油性剂大多对抗乳化性有不良影响, 因此, 要特别注意选用不致促使油品乳化的油性剂。一般表面张力大的润滑油, 其抗乳化性较好。

(7) 凝固点要低 凝固点至少要比最低工作温度低 5°C , 以保证油的流动性与低温起动性。在油中加入降凝剂来降低凝固点要比采用深度脱蜡的高级油更经济。

(8) 空气释放能力要好 这一性能在与液压系统和控制系统合用的压力供油系统中比较重要。如油中的空气不能及时排出, 它将降低润滑油膜的承载能力, 并在供油时引起压力降, 影响液压系统与控制系统的灵敏性。

2. 对开式工业齿轮油的要求

(1) 有良好的粘附性 它可以使润滑油牢固地粘附在齿面上, 不致于被其受离心力作用甩掉, 除残渣油型齿轮油本身有一定的粘附性外, 一般多在油中加入高分子聚合物或高软化点树脂等来改善这一性能, 最常用的有聚异丁烯等, 用于粗糙的齿轮上的齿轮油也有加入沥青的。

(2) 粘度要适当 除非特殊情况, 开式传动一般都用高粘度润滑油润滑。由于品种与施加方式不同, 有不同的粘度要求。例如用喷射法润滑时, 粘度就应低一些, 而用加热或用溶剂稀释润滑时, 粘度就应大一些。

(3) 有较高的油膜强度 这一般可由组成润滑脂的皂式或润滑剂中的极压添加剂来保证。

(4) 有抗水能力和防锈性 该要求对于环境潮湿, 有水冲刷的齿轮较为重要。

对蜗杆蜗轮用润滑油特别要求具有良好的油性。

对汽车后桥用齿轮油特别要求其具有良好的极压性能。

第2章 齿轮传动的润滑及润滑油的选用

1 齿轮润滑油的分类

1.1 按用途分类

我国的工业齿轮油根据其用途分为: 工业闭式齿轮油; 蜗轮蜗杆油; 开式工业齿轮油; 车辆齿轮油。高速齿轮传动通常采用汽轮机油。

国际标准化组织 (ISO) 对工业齿轮油的分类以及我国的相应分类见表 16.2-1。

1.1.1 工业闭式齿轮油的分类

我国有三种工业闭式齿轮油:

1) L-CKB 抗氧防锈型工业齿轮油。

2) L-CKC 中载荷工业齿轮油。

3) L-CKD 重载荷工业齿轮油。其性能及用途见表 16.2-2。

工业齿轮油是由基础油加入各种添加剂调制而成。基础油目前国内有两种: 一种由天然矿物油精炼制成, 如工业闭式齿轮油则是由精制矿物油加入各种添加剂制成。另一种是由化工合成的润滑油, 称合成油, 目前在国内外发展很快, 合成油的优点是具有更好的氧化安定性、热稳定性、低温性、水解安定性和抗乳化性以及更高的粘度指数。其分类和使用要求见表 16.2-2。

表 16.2-1 国际标准化组织 (ISO) 对工业齿轮油分类^①及我国的相应分类

符号字母	一般应用	特殊应用	具体应用	组成和特性	ISO-L 的符号	应用例子 ^②	备 注	我国的分类
C	齿轮	闭式齿轮	飞溅、循环或喷射式连续润滑	精制矿物油,并具有抗氧化、抗腐蚀(对铁和非铁金属)和抗泡性能的CKB油,并已提高其极压和抗磨性	CKB CKC	在轻载荷下操作的齿轮在正常或中等的恒定油温和高载荷下运转的齿轮		L-CKB 抗氧化防锈型工业齿轮油 L-CKC 中载荷(中极压)工业齿轮油
				CKC油,并已提高和改善其热氧化安定性,使其可用于高温	CKD	在高的恒定油温和重载荷下运转的齿轮		L-CKD 重载荷(高极压)工业齿轮油
				具有抗氧化、抗磨和抗腐蚀(对铁和非铁金属)性的润滑剂,能用于特别低的温度和高的温度	CKS	在低的或更高恒定液体温度和轻载荷下运转的齿轮	用于一般设备。当常用矿物油不能满足要求时,可以用合成油或含有合成油的产品	低温工业齿轮油
				可以在宽广温度(低温和更高温)和在高载荷下使用的CKS型润滑剂	CKT	在低的或更高的恒定液体温度和重载荷下运转的齿轮		低温重载荷工业齿轮油
			飞溅式连续润滑	具有极压和抗磨性的润滑脂	CKG	在轻载荷下运转的齿轮		
		装有安全挡板的开式齿轮	间断式或滴入式机械润滑	通常采用具有抗腐蚀性的沥青型产品	CKH	在中等环境温度下和通常在轻载荷下运转的圆柱直齿轮或斜齿轮	1) 在ISO6743/1中确定的AB油 ^② ,可以用于与CKJ油相同的使用场合 2) 为使用方便,这些产品可以含有挥发性稀释剂,这类产品命名为:CKH-DIL或CKJ-DIL	抗氧化防锈型开式齿轮油
				CKH油,并已具有和提高其极压和抗磨性	CKJ			极压开式齿轮油
				具有已改进的极压、抗磨、抗腐蚀和热稳定性能的润滑脂	CKK	在高或更高的环境温度下和在重载荷下运转的圆柱直齿轮或斜齿轮		
			间断应用	允许在极限载荷下使用、已改进其抗擦伤性,而且具有热稳定性的粘稠产品	CKM	通常在特别重的载荷下运转的齿轮	本产品不能喷射	特种开式齿轮润滑剂

① 本分类不包括汽车齿轮油的分类。ISOTC28/SC4 文件提出,当一个产品可用于任何组别时,则只能编入一个应用组。

② AB油是含有沥青或添加剂以提高其粘附性、极压性和抗腐蚀性的精制矿物油,它实际上是一种极压型开式齿轮油。

③ 分类中涉及的两个参数(温度—油温、环境温度;载荷—齿面应力、滑动速度)说明如下:

温度:更低温度 $<-35^{\circ}\text{C}$;低温 $(-34\sim-16^{\circ}\text{C})$;正常温度 $(-15\sim 69^{\circ}\text{C})$;中等温度 $(70\sim 99^{\circ}\text{C})$;高温 $(100\sim 120^{\circ}\text{C})$;更高温度 $(>120^{\circ}\text{C})$ 。

载荷:轻载荷—赫兹应力低于 500MPa (500N/mm^2)和在齿面上的最大滑动速度(v_g)低于 $1/3$ 的节圆柱上圆周速度(v)。

重载荷—赫兹应力大于 500MPa 和 v_g 可能大于 $1/3v$ 。

表 16.2-2 闭式工业齿轮油的分类

分 组	使 用 说 明	性 能 要 求	相对应的国外标准
L-CKB 抗 氧 防 锈 型 工 业 齿 轮 油	由精制润滑油加入抗氧剂、防锈剂制成具有较好的氧化安定性和防锈性等,适用于一般圆柱直齿轮、斜齿轮、锥齿轮及低速轻载荷的弧齿锥齿轮的封闭齿轮箱的润滑	具有较好氧化安定性和防锈性	AGMA250002R&0 齿轮油
L-CKC 中 载 荷 工 业 齿 轮 油	是由精制润滑油加入极压抗磨剂、抗氧剂、防锈剂制成。比普通闭式工业齿轮油具有更好的抗磨性能。适用于在重载或具有振动载荷的圆柱直齿轮、斜齿轮、锥齿轮、弧齿锥齿轮或圆弧齿轮的封闭式齿轮箱的润滑	极压性要求:梯姆肯试验 OK 值不小于 200.2N 或 FZG 试验不小于 9 级通过	极 压 齿 轮 油; AG-MA250.03 的 EP 齿轮油,过渡到 AGMA250.04 的 EP 油
L-CKD 重 载 荷 工 业 齿 轮 油	由精制润滑油加入极压抗磨剂、抗氧剂、防锈剂制成,具有比闭式中极压工业齿轮油更好的抗磨性、氧化安定性。适用于在特别高的恒定温度和重载条件下工作的圆柱直齿轮、斜齿轮、弧齿锥齿轮或圆弧齿轮的封闭式齿轮箱的润滑	梯姆肯 OK 值不小于 266.9N, FZG 试验不小于 11 级通过	全极压齿轮油,美钢 224 或 AGMA>250.04 的 EP 油
低温重载 荷 工 业 齿 轮 油	由合成油或含有部分合成油的精制矿物油加入极压抗磨剂和防锈剂制成。具有抗氧、抗磨、防锈和较好的高温性能,可用于在宽广的温度和重载条件下工作的齿轮箱的润滑	比重载荷工业齿轮油具有更好的高温性能	极压性能同美钢 224
低温工业 齿 轮 油	是由合成油或含有部分合成油的精制矿物油制成,加有抗氧剂、抗磨剂和防锈剂。适用于在特别高和特别低的温度下工作的齿轮箱润滑	比中载荷工业齿轮油具有更好的高温性能	

1.1.2 蜗轮蜗杆油的分类

蜗杆蜗轮传动一般以钢蜗杆和铜合金蜗轮相匹配,具有结构紧凑、体积小、传动比大运转平稳、噪声低和承载能力大等优点,由于我国过去没有蜗轮蜗杆油,只能采用其他油品来代替,因此,影响了蜗轮蜗杆的承载能力和使用寿命,现在我国茂名、兰州、沈阳等地已试制出两种蜗轮蜗杆油,其分类和使用要求见表 16.2-3。

1.1.3 开式工业齿轮油的分类

开式齿轮传动一般速度不高,要求润滑油具有粘附力强、粘度高和良好的防锈性能。可采用润滑油润滑、润滑脂润滑及润滑成膜膏润滑等。

(1) 开式工业齿轮油润滑 开式工业齿轮油可分为四种类型。

- 1) 抗氧防锈型开式齿轮油。
- 2) 极压开式齿轮油。

表 16.2-3 蜗轮蜗杆油分类

分 类	组 成 及 用 途	相对应的国外标准
L-CKE 复 合 型 蜗 轮 蜗 杆 油	由精制矿物油或合成油加脂肪型油性剂制成的复合齿轮油。具有很好的油性和较低的摩擦因数。适用于轻载荷、无冲击载荷的蜗轮蜗杆副润滑	美国军 用标准 MIL-L- 15019E-1982
L-CKE/P 极 压 型 蜗 轮 蜗 杆 油	由精制矿物油加脂肪型油性剂和极压剂制成。适用于重载、有冲击和振动的蜗杆蜗轮副的润滑	美国军用标准 MIL-L -18486B (OS) -1982

3) 溶剂稀释型开式齿轮油。

4) 特种开式齿轮油。其性能、要求以及相对应的国外标准见表 16.2-4。

表 16.2-4 开式工业齿轮油分类

分 组	使 用 说 明	性 能 要 求	相对应的国外标准
抗氧防 锈 型 开 式 齿 轮 油	由高粘度精制基础油加入抗氧、防锈添加剂制成,具有较好的氧化安定性、防锈性、抗乳化性。适用于工作条件缓和的半封闭式或开式齿轮的润滑		AGMA251.02 的 R&O 型

(续)

分 组	使 用 说 明	性 能 要 求	相对应的国外标准
极压开式齿轮油	由精制矿物油加入专门添加剂制成。具有较好的极压抗磨性。适用于在苛刻条件下工作的开式齿轮箱或半封闭齿轮箱的润滑	极压性要求：梯姆肯试验 OK 值不小于 200.2N，或 FZG 试验不小于 9 级通过	AGMA251.02 的 EP 型
溶剂稀释型开式齿轮油	由高粘度的开式齿轮油或极压开式齿轮油加入挥发性溶剂制成，溶剂挥发后，在齿轮表面形成一种油膜，具有较好的极压抗磨性能，适用于开式齿轮箱和半封闭式齿轮箱的润滑	极压性试验：极压开式齿轮油加入挥发性溶剂后制成的油，在溶剂挥发后，其油膜强度应为：梯姆肯试验 OK 值不小于 200.2N，或 FZG 试验不小于 9 级通过	AGMA251.02 的溶剂挥发型
特种开式齿轮润滑剂	由矿物油加入高聚物和其他专门添加剂制成，具有好的粘附性，能生成很粘的润滑膜，并具有很好的耐水性、防锈性和极压性	OK 值不小于 200.2N 或 FZG9 级通过	AGMA251.02

(2) 开式齿轮的润滑脂润滑 开式齿轮传动可采用润滑脂润滑。这种润滑脂由稠化剂，基础油和添加剂组成。稠化剂一般采用钙基皂。针入度是润滑脂最重要的指标，用来控制润滑脂工作稠度。各国的润滑脂大都是按针入度以美国国家润滑脂学会 (NLGI) 的规定进行分号的。推荐按表 16.2-5 选择润滑脂的牌号。

表 16.2-5 NLGI 规定的润滑脂牌号

环境温度 /℃	传动形式	选用脂针入度 (25℃)	NLGI 分号
0~20	开式齿轮传动	290~330	1
20~60	开式齿轮传动	230~290	2、3
0~50	开式蜗杆传动	320~370	0、1

1.1.4 车辆齿轮油的分类

车辆齿轮油用于汽车、拖拉机和工程机械的变速箱、转向机构和后桥齿轮箱的润滑。车辆齿轮的工作特点是：

1) 啮合部位承受的压力很高。

表 16.2-6 美国石油学会 (API) 汽车变速箱和驱动桥润滑油的使用分类及我国车辆齿轮油的详细分类

分 类	使 用 说 明	用 途	我国国标 GB7631.7-89	组成、特性和使用说明	使用部位
GL-1 ^①	低齿面压力、低滑动速度下运行的汽车弧齿锥齿轮的驱动桥以及各种手动传动箱规定用 GL-1 齿轮油，直馏矿物油即能满足这类情况的要求。可以加入抗氧剂、防锈剂和消泡剂改进其性能	汽车手动变速器包括拖拉机和卡车手动传动箱			
GL-2 ^①	适用于汽车蜗轮、后桥齿轮，由于其负荷温度和滑动变速的状况而使得 GL-1 齿轮油不能满足要求的蜗轮、齿轮，规定要用 GL-2 油。这种油通常都加有脂肪添加剂	蜗杆传动装置			

2) 工作温度高，一般工业齿轮的工作温度为 10~80℃，在苛刻条件下，短时间内可达到 90~100℃，但准双曲面齿轮的工作温度可达 120~180℃。

3) 滑动速度大，冲击载荷大，润滑条件苛刻。因此，对所用齿轮油提出了更高的要求。

我国的车辆齿轮油按质量分为普通车辆齿轮油、中载荷车辆齿轮油和重载荷车辆齿轮油三类，这三类油分别相当于美国 API 质量分等的 GL-3、GL-4 和 GL-5 车辆齿轮油，此外，API 还有更高档的 GL-6 车辆齿轮油，仅为美国福特汽车公司使用，规格为 Ford Esw-M2C105A。SAE、ASTM 和 API 还共同开发了两个新牌号 PG-1 和 PG-2 车辆齿轮油。PG-1 用于工业卡车和大轿车的手动传动机构，PG-2 用于重型卡车的后桥，包括弧齿锥齿轮和双曲面齿轮。

我国车辆齿轮油的分类以及美国石油学会 (API) 汽车变速箱和驱动桥润滑油的使用分类见表 16.2-6

(续)

分 类	使 用 说 明	用 途	我国国标 GB7631.7-89	组成、特性和使用说明	使用部位
GL-3	速度和载荷要求比较苛刻的汽车手动变速器和弧齿锥齿轮的驱动桥,规定要用 GL-3 油。这种油耐负荷能力比 GL-1 和 GL-2 要高,但比 GL-4 要低	手动变速器和弧齿锥齿轮的驱动桥	CLC(普通车辆齿轮油)②	精制矿物油加入抗氧化剂、防锈剂、抗泡剂和少量极压剂等制成。适用于中等速度和载荷要求比较苛刻的汽车手动变速器和弧齿锥齿轮的驱动桥。这种油具有比 CLA 和 CLB 好的耐负荷能力	汽车的手动变速器,弧齿锥齿轮的驱动桥
GL-4	在低速高转矩,高速低转矩下操作的各种齿轮,特别是客车和其他车辆用的准双曲面齿轮,规定要用 GL-4 油。要求油品抗擦伤性能等于或优于 CRC RGD-105 参考油,该油已做各种试验证明具有 1972 年 4 月 ASTM STP512 说明的性能水平	手动变速器,弧齿锥齿轮和使用条件不太苛刻的准双曲面齿轮	CLD(中载荷车辆齿轮油)②	由精制矿物油加入抗氧化剂、防锈剂、抗泡剂和极压剂等制成。适用于在低速高转矩,高速低转矩下操作的各种齿轮,特别是客车和其他各种车辆用的准双曲面齿轮	汽车的手动变速器、弧齿锥齿轮和使用条件不太苛刻的准双曲面齿轮的驱动桥
GL-5	在高速冲击载荷,高速低转矩、低速高转矩下操作的各种齿轮,特别是客车和其他车辆的准双曲面齿轮规定要用 GL-5 油 要求其抗擦伤性能等于或优于 CRC RGD-110 参考油,该油已做过各种试验,证明符合 1972 年 4 月 ASTM STP512 说明的性能水平	操作条件缓和或苛刻的准双曲面齿轮及其他各种齿轮的驱动桥,也可用于手动变速器	CLE(重载荷车辆齿轮油)	由精制矿物油加抗氧化剂、防锈剂、抗泡剂和极压剂等制成。适用于在高速冲击载荷、高速低转矩和低速高转矩条件下操作的各种齿轮,特别是客车和其他车辆的准双曲面齿轮	操作条件缓和或苛刻的准双曲面齿轮及其他各种齿轮的驱动桥,也可用于手动变速器
GL-6	原规定为在极高速、高性能条件下使用的齿轮油,用于福特小汽车,但是这个分类已经被废除,评价润滑油性能试验程序所用的设备已经不存在了				

① 国外使用较多的是 GL-3, GL-4 和 GL-5。GL-1, GL-2 等质量较低的油,可用性能相当的工业齿轮油来代替。我国国家标准已取消与其相对应的 CLA, CLB 两类油。

② CLC, CLD 我国以前都叫双曲面齿轮油,分为 1) 渣油型双曲面齿轮油,适用于一般载荷的准双曲面齿轮,按 100℃ 粘度,又分为 22、28 两个牌号,现在该油品由于质量不好,已停止生产。2) 馏分型双曲面齿轮油,按其所含极压剂又分为硫-磷-氯-锌型和硫-磷型两类(后者的热氧化安定性、防锈性等优于前者),该油品可用于苛刻条件下的小轿车、公共汽车、载重汽车的准双曲面齿轮,按 100℃ 粘度又分为 18、26 两个牌号,据说其质量可相当于 CLC 或 CLD。

西方各国的车辆齿轮油广泛采用美国汽车工程师学会(SAE)的粘度分类标准,我国 GB7631.7-89 标准也在车辆齿轮油中采用了该粘度分类(见表 16.2-7),其中 W 代表“冬用”,无 W 字为非冬用油。级号是根据 100℃ 运动粘度划分的。

表 16.2-7 汽车驱动桥和手动变速器齿轮油粘度分类 (GB7631.7-89 附录 A, SAE J308C)

SAE 级号	粘度 150000mPa·s 时的最高温度/℃①	运动粘度 (100℃) (mm ² /s)②	
		最 小	最 大
70W	-55	4.1	—
75W	-40	4.1	—

(续)

SAE 级号	粘度 150000mPa·s 时的最高温度/℃①	运动粘度 (100℃) (mm ² /s)②	
		最 小	最 大
80W	-26	7.0	—
85W	-12	11.0	—
90	—	13.5	<24.0
140	—	24.0	<41.0
250	—	41.0	—

① 低温粘度用 GB/T11145 车用流体润滑剂的低温粘度测定法(勃罗克费尔特粘度计法)进行测定。

② 100℃ 的运动粘度用 GB/T265 石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法进行测定。

1.1.5
汽轮机油的分类

汽轮机油（透平油）在齿轮传动上主要用于电力、船舶、石油化工、化纤、化肥等行业的高速齿轮（线速度大于 25m/s）传动的润滑，它可同时满足齿轮和轴承

润滑的要求。汽轮机油有普通汽轮机油、防锈汽轮机油、抗氨汽轮机油、极压汽轮机油、抗燃和高温汽轮机油等类型，其分类、性能及用途见表 16.2-8。

表 16.2-8 国际标准化组织对汽轮机油（T 组油品）的分类表（ISO/DIS6743/5—85）

字母	一般应用	特殊应用	更特殊应用	组成和特性	ISO-L 的符号	典型用途
T	汽轮机	蒸汽直接耦合的或齿轮负载的	正常使用	深度精制矿物油，并具有防锈和氧化安定性	TSA	电力（发电机）和工业动力源，及有关控制系统。不需要改善齿轮承载能力的船舶驱动（动力源）
			特定性能	合成液，无特殊抗燃性 ^{① ②}	TSC	用途同 TSA，用于认为液体的抗氧化性和低温性能等特定性能是首要的系统中
			难燃	磷酸酯润滑油 ^①	TSD	用途同 TSA，用于需抗燃的系统中
			高负荷承载能力	深度精制矿物油，并具有防锈、氧化安定性和提高了的负荷承载能力	TSE	用途同 TSA，以及船舶齿轮驱动，用于齿轮需改善负荷承载能力的系统中
		燃气直接耦合的或齿轮负载的	正常使用	深度精制矿物油，并具有防锈和氧化安定性	TGA	用途同 TSA
			高温使用	深度精制矿物油，并具有防锈和改善了氧化安定性	TGB	用途同 TSA，用于由于系统中有局部高温而需抗高温的系统
			特定性能	合成液，无特殊难燃性 ^{① ②}	TGC	用途同 TSA，用于认为液体的抗氧化性和低温性等特定性能是首要的系统中
			难燃	磷酸酯润滑油 ^①	TGD	用途同 TSA，用于需抗燃的系统中
			高负荷承载能力	深度精制矿物油，并具有防锈、氧化安定性和提高了的负荷承载能力	TGE	用途同 TSA，以及船舶齿轮驱动，用于齿轮需改善负荷承载能力的系统中
		控制系统	难燃	磷酸脂	TCD	蒸汽、燃气和液压涡轮机的控制机构，其中润滑剂和难燃液的供给系统是各自独立的
		航空 ^③			TA	
		液压 ^③			TH	

- ① 本产品不可与矿物油相混。
- ② 本品种包括合成烃和其他化学品。
- ③ 尚未制定分类。

1.2
美国齿轮制造商协会（AGMA）的分类

除了上述分类外，美国齿轮制造商协会（AGMA）还把所有齿轮润滑油分成六大类（表 16.2-9）。

表 16.2-9 美国齿轮制造商协会（AGMA）的工业齿轮油分类与我国工业齿轮油对照

AGMA 分类	组 成	我国的分类	说 明
抗氧防锈型矿物油	矿物油+防锈剂+抗氧剂	抗氧防锈型工业齿轮油	使用温度为 -20~120℃
极压齿轮油	矿物油+极压抗磨剂+其他添加剂	中负荷（中极压）工业齿轮油	加有硫磷型极压抗磨剂、防锈剂、抗氧剂、抗泡剂、减摩剂，使用温度为 -20~120℃
复合油	矿物油+3%~10%脂肪油或合成脂肪油	蜗轮蜗杆油	油性较好，一般用于蜗杆传动

（续）

AGMA 分类	组 成	我国的分类	说 明
合成油	合成烃、羧酸酯、聚二甲基硅油、聚苯醚、硅油和氟油等	合成油	其优点是热氧化安定性好，粘度指数高，凝点低，抗磨性好。用于在特殊运转条件下工作的封闭式齿轮和蜗轮蜗杆，工作温度为 -73~260℃
开式工业齿轮油	加有粘附剂	开式齿轮油	适用于开式齿轮，工作温度为 5~120℃
润滑脂	在润滑油中加入稠化剂（皂类）稠化而制成凝胶状物质	润滑脂	适用于低速或间断操作的轻载零件，使用寿命长，工作温度为 -20~120℃

1.3 根据极压添加剂分类

根据极压添加剂的类型, 极压工业齿轮油可分为铅型(加有铅皂极压剂)和硫磷型(加有含硫磷的极压剂)两种, 其主要性能比较见表 16.2-10。

由表中可看出, 硫磷型油在下列性能上优于铅型油:

- 1) 极压抗磨性。
- 2) 热氧化安定性和贮存安定性。
- 3) 抗乳化性。

4) 毒性(铅有毒)。

因此, 硫磷型油正在取代铅型油。

近来还开发了很有发展前途的加硼酸盐(酯)极压抗磨剂的齿轮油, 其极压抗磨性和热氧化安定性很突出(FZG 齿轮试验可达 12 级以上), 已超过硫磷型齿轮油(见表 16.2-11)。硼型齿轮油还有一个特点: 它的极压抗磨性是随着油品粘度的下降而增加的, 这与硫磷型齿轮油正好相反。硼型齿轮油美国许多工业部门已广泛使用。我国茂名等地也已研制生产。

表 16.2-10 硫磷型与铅型齿轮油主要性能比较(基础油为 SAE90)

试 验 项 目	硫 磷 型	铅 型 A ^①	铅 型 B ^②
工业齿轮油氧化试验 ^③			
粘度变化 (%)	+3.1	+8.9	+8.5
沉淀物(目测) mL	无	0.15	微量
油 泥	轻	重	无
热氧化安定性试验 ^④			
粘度增长 (%)	11.0	11.8	—
戊烷不溶物含量(质量分数) (%)	0.05	9.7	—
苯不溶物含量(质量分数) (%)	0.04	1.9	—
催化剂外观	微量油泥	大量油泥	—
成焦板试验			
沉积物/mg	174	995	235
静态烧杯试验			
65.5°C	—	—	透明
79.5°C	—	—	混浊
100°C	透明	透明	大量油泥
107°C	透明	—	—
121°C	少量油泥	—	大量油泥
150°C	少量油泥	—	大量油泥
载荷能力			
FZG			
A/8.3/90°C	通过 12 级	通过 9 级 10 级失败	通过 10 级 11 级失败
A/16.6/90°C	通过 12 级	—	通过 8 级 9 级失败
A/16.6/140°C	通过 12 级	—	—
梯姆肯通过载荷/N	289.1	289.1	244.7
蜗轮蜗杆试验(90°C、250h)	轻度划痕	中度到深度点蚀	深度磨损
四球机极压试验			
综合磨损指数/N	521	566	411
烧结载荷/N	2500	4000	2400
卡咬载荷/N	1260	1000	1000
四球机磨损试验			
摩擦系数	0.075	0.086	0.076
磨痕直径/mm	0.30	0.64	0.57
铜片腐蚀(ASTM D130)			
100°C、3h	1a—1b	1b	1a
100°C、24h	3a	3a—3b	1a, 带 4a 斑痕
121°C、3h	1a—2b	1b	2c
抗乳化性:(ASTM D2711) ^⑤			
油中水 (%)	0.6	1.6	0.5

(续)

试 验 项 目	硫 磷 型	铅 型 A ^①	铅 型 B ^②
游离水总量/mL	86.1	82.0	72.5
从漏斗分出/mL	85.5	77.0	60.0
离心后分出/mL	0.6	5.0	12.5
乳液量/mL	0.1	1.6	12.0
水的外观	透明	不透明	混浊
锈蚀 (ASTM D665)			
加蒸馏水	通过	通过	失败

① A 油的铅皂和硫化脂调配;

② B 油是铅盐 (未皂化) 调配;

③ 试验条件为 121°C、10L 空气/h、312h;

④ 试验条件为 163°C、加铜催化剂, 50h;

⑤ 加 90mL 水。

表 16.2-11 硼型齿轮油与硫磷型齿轮油的性能比较

项 目	试 验 方 法	硼型齿轮油	硫磷型齿轮油
极压性			
(1) 梯姆肯 OK 值 (通过负荷) /N (1bf)	ASTM D2783	444.8 (100)	200.1~266.9
(2) 法莱克斯 (Falex) 极压试验/N (1bf)		12900 (2900)	(45~60)
(3) 壳牌四球机负荷—磨损指数/N 烧结负荷/N	ASTM D2783	539.3 2549	
(4) FZG 齿轮试验 (双速) 通过级		>12	12
抗磨性			
壳牌四球机 (196N, 60min) /mm (392N, 60min) /mm	ASTM D2266	0.20 0.37	
热氧化安定性			
(1) 121°C, 1000h, 粘度增大 (%)	ASTM D943	20	30~80
(2) 150°C, 60h, 产生油泥或胶质所需时间, 周	烧坏, 烘箱	30~35	15~20
(3) 163°C, 50h 粘度增加 (%)		11	15~35
正戊烷不溶物含量 (质量分数) (%)		0.05	0.5
苯不溶物含量 (质量分数) (%)		0.02	0.3
铜催化剂失重 (质量分数) (%)		0.001	8~12
防锈性	ASTM D665A	合格	
铜片腐蚀 (121°C, 3h)	ASTM D130	1a~1b	

2 工业齿轮油及其质量指标

2.1 闭式工业齿轮传动用油

2.1.1 工业闭式齿轮油

工业闭式齿轮油有 L-CKB 抗氧防锈型工业齿轮油、L-CKC 中载荷工业齿轮油和 L-CKD 重载荷工业齿轮油, 其质量指标见表 16.2-12。

为便于对比, 在表 16.2-13 和表 16.2-14 列出一些外国公司的极压齿轮油的典型特性。

2.1.2 合成齿轮油

合成齿轮油用于一些特殊条件下工作的闭式齿轮装置, 其性能比矿物油优越: 稳定性好, 寿命长, 工作温度分布范围广。但每一种合成油都有自己的特性和

明显的缺点, 在缺乏使用经验时, 应与齿轮制造者和油品供应者协商, 以便合理使用合成齿轮油。

我国 4403 合成齿轮油的质量指标见表 16.2-15。国外 MFG 公司生产的 SAE75W-140 多级合成齿轮油的质量指标见表 16.2-16, 以供参考。

2.1.3 蜗轮蜗杆油

(1) L-CKE 复合型蜗轮蜗杆油 它是由精制矿物油或合成油加脂肪型油性剂等调制而成的复合润滑油。适用于轻载荷、无冲击载荷的蜗杆副润滑。

(2) L-CKE/P 极压型蜗轮蜗杆油 它是由精制矿物油加脂肪型油性剂和极压剂等调制而成的。适用于重载荷、有冲击载荷的蜗杆副。

L-CKE 复合型蜗轮蜗杆油、L-CKE/P 极压型蜗轮蜗杆油的质量指标见表 16.2-17。

表 16.2-12 我国工业闭式齿轮油质量指标 (GB 5903—1995)

项 目		质 量 指 标																								试验方法	
品 种	质量等级	L-CKB			L-CKC																		L-CKD				
		一等品			合格品																		一等品				
粘度等级(按 GB 3141)		100	150	220	320	68	100	150	220	320	460	680	68	100	150	220	320	460	680	100	150	220	320	460	680	—	
运动粘度(40°C)/(mm ² /s)		90	135	198	288	61.2	90	135	198	288	414	612	61.2	90	135	198	288	414	612	90	135	198	288	414	612	GB/T 265	
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~			
		110	165	242	352	74.8	110	165	242	352	506	748	74.8	110	165	242	352	506	748	110	165	242	352	506	748		
粘度指数 ^①	不小于	90			90																		90			GB/T 2541	
闪点(开口)/°C	不低于	180	200			180																		200			GB/T 267
倾点/°C	不高于	-8			-8			-5			-8			-5			-8			-5			GB/T 3535				
水分(质量分数)(%)	不大于	痕 迹			痕 迹																		痕 迹			GB/T 260	
机械杂质含量(质量分数)(%)	不大于	0.01			0.02																		0.02			GB/T 511	
腐蚀试验,级 (铜片)121°C,3h 100°C,3h	不大于 不大于	— 1			1 —																		— 1			GB/T 5096	
液相锈蚀试验 蒸馏水 合成海水		无 锈			无 锈 无 锈																		无 锈 无 锈			GB/T 11143	
氧化安定性 ^② 中和值达 2.0mg(KOH)/g h	不小于	750	500			—																		—			GB/T 12581
氧化安定性 ^② 1)(95°C,312h)100°C 运动粘度增长(%)	不大于	—			10																		10			SH/T 0123	
2)(121°C,312h)100°C 运动粘度增长(%)	不大于	—			—																		—			SH/T 0024	
沉淀值/mL	不大于	—			—																		—				
旋转氧弹(150°C)/min		报 告																								SH/T 0193	
泡沫性(泡沫倾向/泡沫稳定性)/(mL/mL) 24°C	不大于	75/10			75/10																		75/10			GB/T 12579	
93.5°C	不大于	75/10			75/10																		75/10				
后 24°C	不大于	75/10			75/10																		75/10				

(续)

项 目	质 量 指 标																			试验方法					
	品 种	L-CKC																							
		L-CKB						一等品						合格品							L-CKD				
质量等级	100	150	220	320	68	100	150	220	320	460	680	68	100	150	220	320	460	680	100	150	220	320	460	680	—
粘度等级(按 GB 3141)																									
抗乳化性(32℃)																									
油中水(%)	不大于																								
乳化层/mL	不大于																								
总分离水/mL	不小于																								
Timken 机试验(OK 负荷)/N(lb)④	不小于																								
FZG(或 CL-100)齿轮试验																									
机试验(A/8.3/90),	—																								
通过级④	不小于																								
四球机试验																									
负荷磨损指数/N(kgf)	不小于																								
烧结负荷 PD/N(kgf)	不小于																								
磨斑直径(1 800r/min, 196N 60min, 54℃)/mm	—																								
剪切安定性(齿轮机法)⑥	—																								
剪切后 40℃ 运动粘度/mm ² /s	—																								
热安定性(135℃, 168h)④	—																								
铜棒失重/(mg/200mL)	—																								
钢棒失重/(mg/200mL)	—																								
总沉淀重/(mg/100mL)	—																								
40℃ 运动粘度变化(%)	—																								
中和值变化(%)	—																								
铜棒外观	—																								
钢棒外观	—																								

- ① MVI 基础油生产的 L-CKB、L-CKC (一等品和合格品), 粘度指数允许不低于 70。
- ② 氧化安定性, Timken 机试验和 FZG 齿轮机试验为验证项目, 每年抽查一次, 但必须合格, L-CKC 合格品在 Timken 机试验和 FZG 齿轮机试验两项中, 只要求测试其中之一。
- ③ 不含粘度添加剂的 L-CKC、L-CKD, 不测定剪切安定性。
- ④ 热安定性为抽查项目。